

## 仮想化に基づく分散システムモデルとその処理系に関する研究

著者	菊池 一彦
号	200
発行年	2001
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/12895">http://hdl.handle.net/10097/12895</a>

氏名（本籍）	きく ち かず ひこ 菊 池 一 彦	（宮 城 県）
学 位 の 種 類	博 士（情報科学）	
学 位 記 番 号	情 博 第 200 号	
学位授与年月日	平成13年9月13日	
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当	
研究科、専攻	東北大学大学院情報科学研究科（博士課程）情報基礎科学専攻	
学位論文題目	仮想化に基づく分散システムモデルとその処理系に関する研究	
論文審査委員	（主 査） 東北大学教授 白鳥 則郎	東北大学教授 木下 哲男
	東北大学教授 阿曾 弘具	東北大学教授 牧野 正三 （工学研究科）

## 論文内容要旨

### 1 序論

広域に分散しているさまざまなソフトウェアやハードウェアなどの計算資源を用いて分散システムを構成する場合、計算資源の操作方法の違いやネットワーク上の位置を意識させない透過性を備えた分散処理環境の実現が重要となっている。しかしながら、分散システムを構成する計算資源の数や種類の増加に伴い、設計に必要な知識の質が高まり、量も増大するため、分散システムの開発が困難となり、効率的な構築法の確立が望まれていた。

また、分散処理環境の広域化に伴い、さまざまな機能や特性を持つ計算資源が提供され、利用可能になってきている。このような環境において分散システムを効率よく実行するために、従来より、分散システムの構成要素である部分プログラムへの計算資源の割り当てにおいて、部分プログラムの処理内容に適した特性を持つ計算資源を割り当てるよう実行制御が行われていた。しかしながら、単に処理内容に適した計算資源を割り当てる方式では、局所的に実行効率が向上しても、計算資源間の連携にかかる時間が考慮されていないため、分散システム全体の実行効率が向上しない場合がある。また、このような状態を検出し改善することもできない。よって、分散システム全体の実行効率を向上させるためには、実行に利用する計算資源間の適合性を確認した上で、全体の実行効率が最適になるよう分散システムを再構成し実行する必要がある。

そこで本論文では、分散システムの開発効率と実行効率の向上を目指し、複数の計算資源を効率よく扱い分散システムを開発するための分散システムモデルと記述言語、および、実行時に動的に分散システムを構成し実行するための動的構成法の実現を目的とする。

### 2 仮想化に基づく分散システムモデル

従来より、計算資源の透過的利用を可能にすることで、分散システムの開発効率を向上させる分散処理環境として、分散オブジェクトシステム(CORBA など)が研究されている。しかしながら、計算資源を透過的に扱えるだけでは、計算資源の数の増加に起因する開発量の増加を押さえることができない。また、計算資源の物理的な仕様に合わせて、分散システムの論理的な構造を決定しなければならないため、設計の困難さを軽減することができない。よって開発効率を向上させることが困難であった。

そこで本論文では、計算資源の仮想化という概念を導入し、実際に存在する物理的な計算資源だけでなく、

分散システムの論理構造に適した機能や特性を持つ仮想的な計算資源を創出し、これを用いて分散システムを表現するための分散システムモデルを考案した。これにより、複数の計算資源を1つの仮想的な計算資源として分散システムの構成要素として扱うことができるため、開発量を削減することが可能となる。また、分散システムの処理内容に適した仮想的な計算資源を創出することにより、計算資源の物理的な仕様に合わせるのではなく、分散システムの論理的な構造をそのまま表現し開発することが可能になるため、開発の容易性を得ることができる。

これらの特徴を持つ分散システムモデルと、このモデルに基づく分散システム記述言語を設計した。この記述言語を用いることにより、分散システムの開発効率を向上させることが可能となった。

### 3 分散システムの動的構成法

分散システムを効率よく実行するためには、計算資源の状態変化(例えば計算機の負荷や稼動状態の変化など)や、処理対象のデータの特性、利用者の嗜好などに応じて利用する計算資源を変更する必要がある。そのため、分散システムの構成要素である部分システムの実行において、実行に適した計算資源を動的に選択し割り当てる必要がある。従来の研究では、主に計算機の負荷に応じた計算資源の割り当てなどが行われていた。しかしながら、単に部分システムに適した計算資源を割り当てる方式では、局所的に実行効率が向上しても、計算資源間の連携に関わる処理時間が考慮されていないため、分散システム全体の実行効率が低下する場合がある。

よって、全体の実行効率を向上させるためには、単に計算資源を選択するだけでなく、これら計算資源間の適合性を確認した上で、全体の実行効率が最適になるように、分散システムを実行時に動的に再構成し実行する必要がある。これを実現するためには、計算資源間の適合性を判断する仕組みと、分散システム全体の実行効率が最適になるよう個々の適合性の判断を調整する仕組みが必要となる。

そこで本論文では、まず始めに、計算資源間の適合性の判断に、利用者の計算資源利用知識を用いた方式を考案した。次に、分散システム全体の実行効率が最適になるように複数の計算資源割り当てを調整する仕組みとして、計算資源を1ステップで割り当てる従来の方式を拡張し、複数の計算資源割り当てにおいて、相互に適合性を判断し調整するためのプロトコルを考案した。

これらを用いることにより、分散システム全体の実行効率が最適になるよう複数の計算資源を割り当てることが可能となった。

### 4 処理系の構成と評価

本章では処理系の試作と評価について述べている。仮想化に基づく分散システムの記述法では、仮想的な計算資源を利用可能にすることで、分散システムを構成する計算資源の数の増加による開発量の増加を押さえている。また、計算資源の物理的な仕様に合わせるのではなく、分散システムの論理的な仕様や構造をそのまま表現することにより、開発の困難さを低減している。よって処理系では、仮想的な計算資源を受信し、物理的な計算資源を割り当て、分散処理の実行を制御する機能が必要である。

次に分散システムの動的構成法では、分散システムの実行時点での計算資源の状態変化や、処理対象データの特性、利用者の嗜好などに応じて利用する計算資源を決定する。また、複数の計算資源の適合性を考慮し、分散システム全体の実行効率が最適になるよう調整する必要がある。よって処理系では、仮想的な計算資源に対して、実際の計算資源を割り当てる過程(インスタンス生成過程)において、複数のインスタンス生成過程の間で適合性を判断し調整する仕組みが必要である。

以上のことから、処理系の実現では、従来より分散処理の制御方式として研究されていたデータ駆動型実行制御方式に対して、インスタンス生成過程を処理する機能と、個々のインスタンス生成過程の間で適合性を判断し調整する機能を拡張し、実装を行った。

次に処理系の評価では、開発効率と実行効率を確認するために、分散システムの記述実験と実行時間の測定を行った。

開発効率の評価では、分散処理の典型的な例題である分子動力学計算問題を用いて、この問題を処理する分

散システムの記述実験を行った。その結果、従来の分散処理環境と比較して、仮想的な計算資源を用いた場合に分散システムの記述量が減少している点を確認した。また、物理的な計算資源に依存するプログラム量が減少していることから、分散システムの論理構造を直接表現することにより開発が行なえることから、開発の困難さが軽減される点を確認した。

実行効率の評価では、転送性能の異なる2種類のネットワークから成る複合ネットワークを用いて、性能や機能特性の異なる複数の計算機を配置した分散処理環境を構成し、試作した処理系を用いた動的構成法による実行効率の向上効果の確認を行った。計算資源の適合性を判断する要素として、セキュリティに関する要求と、計算機特性に関する要求の2種類の判断基準を用い、試作した処理系がこれらの要求を認識し分散システムを動的に構成した場合の実行時間を測定した。その結果、2種類の判断基準の両方において、分散システムの実行時点で最適な計算資源が選択され、従来の分散処理環境よりも実行時間が短縮されることが確認された。

以上のことから、本論文で示した分散システムの記述法と動的構成法を用いることにより、分散システムの記述量が減少し、記述の容易性が向上することによって、開発効率が向上するとともに、計算資源利用知識を用いた動的構成により実行時間が短縮され、実行効率が向上することが確認された。

## 5 結論

広域に分散しているさまざまなソフトウェアやハードウェアなどの計算資源を用いて分散システムを構成する場合、計算資源の操作方法の違いやネットワーク上の位置を意識させない透過性を備えた分散処理環境の実現が重要となっている。しかしながら、分散システムを構成する計算資源の数や種類の増加に伴い、設計に必要な知識の質が高まり、量も増大するため、分散システムの開発が困難となり、効率的な構築法の確立が望まれていた。

また、分散システムを効率よく実行するために、従来より、分散システムの構成要素である部分プログラムへの計算資源の割り当てにおいて、部分プログラムの処理内容に適した特性を持つ計算資源を割り当てるよう実行制御が行われているが、この方式では、局所的に実行効率が向上しても、分散システム全体としては実行効率が向上しない場合があった。よって、分散システム全体の実行効率を向上させるためには、実行に利用する計算資源間の適合性を確認した上で、全体の実行効率が最適になるよう分散システムを再構成し実行する必要がある。

これらの課題に対し、まず始めに、開発効率の向上を目的として、計算資源の仮想化という概念に基づく分散システムモデルと、このモデルに基づく分散システムの記述言語を設計した。次に実行効率の向上を目的として、分散システムの実行に利用する複数の計算資源の割り当てにおいて、計算資源間の適合性を判断することにより、分散システム全体の実行効率を向上させるための動的構成法を考案した。これらの検討結果に基づき処理系を試作し、評価実験を行った結果、本論文の方式が開発効率と実行効率の向上に効果的であることが検証された。

以上のことから、分散システム構築法の基礎として、仮想化に基づく分散システムモデルとその処理系が開発効率と実行効率の向上に有効であることを示した。

## 論文審査の結果の要旨

広域に分散しているさまざまなソフトウェアやハードウェアなどの計算資源を用いて分散システムを構成する場合、計算資源の操作法の違いやネットワーク上の位置を意識させない透過性を備えた分散処理環境の実現が重要となっている。しかしながら、計算資源の数や種類の増加に伴って、設計に必要な知識の質が高まり量も増大するため、これらに対応する分散システムの効率的な構築法の確立が望まれていた。そこで著者は、分散システムの開発効率と実行効率の向上を目指し、仮想化に基づく分散システムモデルとその処理系に関する詳細な研究を行った。本論文はその成果をまとめたものであり、全編5章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、分散システムの開発効率を高めるため、計算資源の物理的な仕様に影響されずに、分散システムの論理的な構造を明確に表現できる分散システムモデルとその記述法を提案している。

第3章では、利用者の要求や計算資源の状態に応じて、分散システムの構造を動的に再構成するために、利用者の計算資源利用知識を用いた分散システムの動的構成法について述べている。分散システムでは、データの特性や利用者の嗜好などにあわせて必要となる計算資源が変わる。この変化に対応し、実行効率の高い分散システムを再構成するためには、計算資源間の適合性が問題となる。これを解決するため、適合性の判断に利用者の計算資源利用知識を効果的に用いた方式を考案している。これは分散システムの動的構成法の実用化に向けた有用な手法であり、高く評価できる。

第4章では、第2章と第3章で述べた分散システムの記述法と動的構成法に基づく処理系の試作と評価を行った。その結果、分散処理スクリプトの記述量が減少し記述の容易性も向上すると共に計算資源利用知識を用いた動的構成により処理時間が短縮され、実行効率が向上していることを確認している。これは広域に散在している計算資源を用いた分散システム構築法に関する実用上重要な成果である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、計算資源の仮想化に基づく分散システムモデルとその処理系の構成・実装・評価を通じて、分散システムの開発効率と実行効率の向上を実現するための構築法の基礎を与えたものであり、情報基礎科学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。